



Cleberton Correia Santos
(Organizador)

**Estudos Interdisciplinares
nas Ciências e da Terra
e Engenharias 4**

 **Atena**
Editora
Ano 2019

Cleberton Correia Santos
(Organizador)

Estudos Interdisciplinares nas Ciências
Exatas e da Terra e Engenharias 4

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	<p>Estudos interdisciplinares nas ciências exatas e da terra e engenharias 4 [recurso eletrônico / Organizador Cleberton Correia Santos. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias; v. 4)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-622-5 DOI 10.22533/at.ed.225191109</p> <p>1. Ciências exatas e da Terra. 2. Engenharias. 3. Tecnologia. I.Santos, Cleberton Correia. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 016.5</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O livro “Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias” de publicação da Atena Editora apresenta em seu 4º volume 37 capítulos com temáticas voltadas à Educação, Agronomia, Arquitetura, Matemática, Geografia, Ciências, Física, Química, Sistemas de Informação e Engenharias.

No âmbito geral, diversas áreas de atuação no mercado necessitam ser elucidadas e articuladas de modo a ampliar sua aplicabilidade aos setores econômicos e sociais por meio de inovações tecnológicas. Neste volume encontram-se estudos com temáticas variadas, dentre elas: estratégias regionais de inovação, aprendizagem significativa, caracterização fitoquímica de plantas medicinais, gestão de riscos, acessibilidade, análises sensoriais e termodinâmicas, redes neurais e computacionais, entre outras, visando agregar informações e conhecimentos para a sociedade.

Os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora aos estimados autores que empenharam-se em desenvolver os trabalhos de qualidade e consistência, visando potencializar o progresso da ciência, tecnologia e informação a fim de estabelecer estratégias e técnicas para as dificuldades dos diversos cenários mundiais.

Espera-se com esse livro incentivar alunos de redes do ensino básico, graduação e pós-graduação, bem como outros pesquisadores de instituições de ensino, pesquisa e extensão ao desenvolvimento estudos de casos e inovações científicas, contribuindo na aprendizagem significativa e desenvolvimento socioeconômico rumo à sustentabilidade e avanços tecnológicos.

Cleberton Correia Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCOS DE INUNDAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE PONTE NOVA – MG	
Anderson Nascimento Milagres Gian Fonseca dos Santos Danilo Segall César Yann Freire Marques Costa Klinger Senra Rezende Alixandre Sanquetta Laporti Luppi Adonai Gomes Fineza	
DOI 10.22533/at.ed.2251911091	
CAPÍTULO 2	8
MUTAGÊNESE DA LEVEDURA <i>Candida viswanathii</i> PARA A PRODUÇÃO DE ENZIMAS LIPOLÍTICAS	
Luiz Renato Lima Silva Miranda Nayra Morgana Lima De Oliveira Erika Carolina Vieira Almeida Adriana Augusta Neto Alex Fernando De Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.2251911092	
CAPÍTULO 3	19
A RELAÇÃO ENTRE PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO DE LIDERANÇA E O CAPITAL SOCIAL NAS ORGANIZAÇÕES	
Bruno Henriques Watté Márcio Vieira de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.2251911093	
CAPÍTULO 4	34
BRUNIMENTO FLEXÍVEL DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS: AVALIAÇÃO DO EFEITO DA GRANULOMETRIA E DO NÚMERO DE GOLPES DA FERRAMENTA NO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE R_p	
Guilherme Henrique Caetano Barros Rosenda Valdés Arencibia Luciano José Arantes	
DOI 10.22533/at.ed.2251911094	
CAPÍTULO 5	41
ANÁLISE DA ACELERAÇÃO POR EXTRAPOLAÇÃO DA FONTE DE FISSÃO CONSIDERANDO A TEORIA DE DIFUSÃO DE NEUTRONS EM REATORES NUCLEARES	
Andrey Silva Pontes Henrique Matheus Ferreira da Silva Lenilson Moreira Araújo	
DOI 10.22533/at.ed.2251911095	

CAPÍTULO 6	51
ANÁLISE DE DESEMPENHO E AVALIAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE REDES DE SENSORES SEM FIO EM <i>SMART GRIDS</i>	
Álison De Oliveira Alves Felipe Denis Mendonça De Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.2251911096	
CAPÍTULO 7	64
SÍNTESE DE COMPOSTOS HÍBRIDOS PERILIL-DIHIDROPIRIMIDINONAS ATRAVÉS DA REAÇÃO DE HUISGEN COM FORMAÇÃO DE ANÉIS 1,2,3-TRIAZÓLICOS	
Vinícius Vendrusculo Dennis Russowsky	
DOI 10.22533/at.ed.2251911097	
CAPÍTULO 8	74
ANÁLISES DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICAS DA CASTANHOLA	
Jonas Soares de Mesquita Davi Pereira Araújo Maria Carolina Martins da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.2251911098	
CAPÍTULO 9	81
USO DE CATALISADORES DE NÍQUEL PARA A RESOLUÇÃO CINÉTICA DINÂMICA DE AMINAS PRIMÁRIAS	
Fernanda Amaral de Siqueira Natália Cavallaro Martins de Sousa Sania Maria de Lima	
DOI 10.22533/at.ed.2251911099	
CAPÍTULO 10	92
AVALIANDO EM MATEMÁTICA: UM ESTUDO DE CASO NO CENTRO-OESTE MINEIRO	
Patrícia Milagre de Freitas Leandro Teles Antunes dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.22519110910	
CAPÍTULO 11	102
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VIDA NO TRABALHO EM TRABALHADORES DA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Andre Luis Martins De Souza Renata Evangelista Alexandre Bueno Ronaldo Marques Serigne Ababacar Felipe Rogério Hudson Luis	
DOI 10.22533/at.ed.22519110911	

CAPÍTULO 12 111

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE UM SOLO RESIDUAL DE GNAISSE MADURO ESTABILIZADO COM LAMA DE CAL

Danilo Segall César
Yann Freire Marques Costa
Anderson Nascimento Milagres
Gian Fonseca dos Santos
Eduardo Souza Candido
Klinger Senra Rezende
Adonai Gomes Fineza

DOI 10.22533/at.ed.22519110912

CAPÍTULO 13 122

AVALIAÇÃO TOXICOLÓGICA DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS: ESTUDO DE CASO COM PILHAS ALCALINAS

Pedro Luiz Dias Barroso
Julia Santos Caetano
Jean Pierre Sayago
Joeci Ricardo Godoi
Rodrigo Souza Banegas
Letícia Flohr

DOI 10.22533/at.ed.22519110913

CAPÍTULO 14 132

CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE FILMES DE PAADDA/PSS E PDDA/PSS PREPARADOS POR LAYER-BY-LAYER

Samanta Costa Machado Silva
Jorge Amim Júnior
Ana Lucia Shiguihara

DOI 10.22533/at.ed.22519110914

CAPÍTULO 15 144

COMPOSIÇÃO QUÍMICA, FENÓIS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DAS FOLHAS DE *Simaba ferruginea*

Jessica Sara de Sousa Macêdo Oliveira
Lucivania Rodrigues dos Santos
Adonias Almeida Carvalho
Renato Pinto de Sousa
Gerardo Magela Vieira Júnior
Ruth Raquel Soares de Farias
Mariana Helena Chaves

DOI 10.22533/at.ed.22519110915

CAPÍTULO 16 157

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS ALCALINAMENTE ATIVADOS PARA MITIGAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS

Jocélio Jairo Vieira Filho
Kelly Cristiane Gomes
Williamns Tadeu de Oliveira Lins Belo

DOI 10.22533/at.ed.22519110916

CAPÍTULO 17 183

ESTRUTURA AXIOMÁTICA DO ORIGAMI: UMA ABORDAGEM DOS POLIEDROS REGULARES NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE MATEMÁTICA

Anita Lima Pimenta
Eliane Scheid Gazire

DOI 10.22533/at.ed.22519110917

CAPÍTULO 18 193

ESTUDO DO EFEITO DOS PARÂMETROS DE PROJETO DE BICOS EXTRUSORES EM BIOIMPRESSÃO UTILIZANDO FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL

Patrícia Muniz de Oliveira
Isabela Poley
Estevam Barbosa Las Casas
Marina Spyer Las Casas
Janaina Dernowsek

DOI 10.22533/at.ed.22519110918

CAPÍTULO 19 205

IMPACTO DA RESOLUÇÃO HORIZONTAL NA SIMULAÇÃO DOS JATOS DE BAIXOS NÍVEIS NA AMÉRICA DO SUL USANDO O MODELO GLOBAL DO CPTEC

Dayana Castilho de Souza
Paulo Yoshio Kubota
Silvio Nilo Figueroa
Enver Manuel Amador Ramirez Gutierrez
Caio Augusto dos Santos Coelho

DOI 10.22533/at.ed.22519110919

CAPÍTULO 20 218

LESSON STUDY: UMA ADAPTAÇÃO PARA O BRASIL

Renata Camacho Bezerra
Maria Raquel Miotto Morelatti

DOI 10.22533/at.ed.22519110920

CAPÍTULO 21 226

MICROSCOPIA DE DESFOCALIZAÇÃO COMO UMA FERRAMENTA DE ESTUDO DE PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS E MECÂNICAS DE ERITRÓCITOS

Paula M. S. Roma
Luiza C. Mourão
Marcelo P. Bemquerer
Erika M. Braga
Ubirajara Agero

DOI 10.22533/at.ed.22519110921

CAPÍTULO 22 232

PENSAMENTO ALGÉBRICO E SUA APLICAÇÃO EM EQUAÇÕES LINEARES

Fábio Mendes Ramos
Fabricia Gracielle Santos
Daniel Martins Nunes

DOI 10.22533/at.ed.22519110922

CAPÍTULO 23	243
ENSINO DE QUÍMICA VERSUS TICs: RETRATO DE PUBLICAÇÕES BRASILEIRAS	
Eleonora Celli Carioca Arenare	
DOI 10.22533/at.ed.22519110923	
CAPÍTULO 24	253
PREPARAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE BLENDS DE PHB/PC	
Francielle Schmitz	
Carolina de Andrade	
Ivonete Oliveira Barcellos	
DOI 10.22533/at.ed.22519110924	
CAPÍTULO 25	267
RESINAS DE POLIÉSTER INSATURADO E SUA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE EMBARCAÇÕES EM FIBERGLASS	
Patricia Reis Pinto	
Sérgio da Silva Feitosa	
Alaíde de Sá Barreto	
DOI 10.22533/at.ed.22519110925	
CAPÍTULO 26	277
APLICAÇÃO DO MÉTODO DA PENALIZAÇÃO ROBUSTA PARA ANÁLISE DE PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO MULTI-OBJETIVO	
Gustavo Barbosa Libotte	
Fran Sérgio Lobato	
Francisco Duarte Moura Neto	
Gustavo Mendes Platt	
DOI 10.22533/at.ed.22519110926	
CAPÍTULO 27	289
SÍNTESE DE FASE SÓLIDA HÍBRIDA MOLECULARMENTE IMPRESSA PARA EXTRAÇÃO DE CAFEÍNA EM AMOSTRAS ÁGUA SUPERFICIAL	
Fabiana Casarin	
Camila Santos Dourado	
Ana Cristi Basile Dias	
DOI 10.22533/at.ed.22519110927	
CAPÍTULO 28	302
SOLUÇÃO ANALÍTICA DE PROBLEMA BIDIMENSIONAL DE CONDUÇÃO DE CALOR UTILIZANDO FUNÇÕES DE GREEN	
José Aguiar dos Santos Junior	
José Ricardo Ferreira Oliveira	
Eduardo Peixoto de Oliveira	
Guilherme Ramalho Costa	
Jefferson Gomes Do Nascimento	
Alisson Augusto Azevedo Figueiredo	
Gilmar Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.22519110928	

CAPÍTULO 29 310

TAXAS DE FREQUÊNCIA E GRAVIDADE DOS ACIDENTES OCORRIDOS EM UM GRUPO DE PROPRIEDADES CAFEEIRAS CERTIFICADAS

Rafael Augusto Silva Souza
Geraldo Gomes de Oliveira Júnior
Armando Mendes Nogueira
Raphael Nogueira Rezende
Agda Silva Prado Oliveira
Adriano Bortolotti da Silva
Patrícia Ribeiro do Valle Coutinho

DOI 10.22533/at.ed.22519110929

CAPÍTULO 30 315

UM SISTEMA COLABORATIVO DE INCENTIVO A DOAÇÃO DE SANGUE

Alúcio José Pereira
Fábio Abrantes Diniz
Elder Gonçalves Pereira
Francisco Paulo de Freitas Neto
Elissandra Cheu Pereira do Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.22519110930

CAPÍTULO 31 329

UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE NÚMEROS DECIMAIS NO 5º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL

Cristiana Monique Feltes Sivert
Cassiano Scott Puhl

DOI 10.22533/at.ed.22519110931

CAPÍTULO 32 339

ESTUDO DA VIABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CULTIVOS DE ORGANISMOS AQUÁTICOS: APLICAÇÃO INICIAL EM VIVEIROS ESCAVADOS

Wilmar Borges Leal Junior
Fabiano Medeiros Tavares
Ítalo Cordeiro Silva Lima
Delfim Dias Bonfim
Lucyano Campos Martins
Nailson Martins Dantas Landim
Haryson Huan Arruda da Silva Santos
Douglas Ferreira Chaves

DOI 10.22533/at.ed.22519110932

CAPÍTULO 33 349

REGRESSÃO POLINOMIAL E REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA AVALIAÇÃO DE IMÓVEIS

Carlos Augusto Zilli
Luiz Fernando Palin Droubi
Norberto Hochheim

DOI 10.22533/at.ed.22519110933

CAPÍTULO 34 363

ANALISE DE RECALQUES NO CONTORNO RODOVIÁRIO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS

Wagner de Sousa Santos
Amanda Morlos

DOI 10.22533/at.ed.22519110934

CAPÍTULO 35	376
SIMULAÇÃO DA ESTABILIDADE DE UM TÚNEL EM MACIÇO ROCHOSO	
Yann Freire Marques Costa	
Danilo Segall César	
Gian Fonseca dos Santos	
Anderson Nascimento Milagres	
Klinger Senra Rezende	
Adonai Gomes Fineza	
DOI 10.22533/at.ed.22519110935	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	387
ÍNDICE REMISSIVO	388

ANÁLISE DA ACELERAÇÃO POR EXTRAPOLAÇÃO DA FONTE DE FISSÃO CONSIDERANDO A TEORIA DE DIFUSÃO DE NEUTRONS EM REATORES NUCLEARES

Andrey Silva Pontes

Universidade Federal do Oeste do Pará
Santarém – Pará

Henrique Matheus Ferreira da Silva

Universidade Federal do Oeste do Pará
Santarém – Pará

Lenilson Moreira Araújo

Universidade Federal do Oeste do Pará
Santarém – Pará

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo analisar a performance do método de aceleração da fonte de fissão por extrapolação, considerando o problema da difusão de nêutrons em reatores nucleares. Diferentes métodos foram empregados simultaneamente com o esquema de aceleração adotado a fim de resolver o sistema linear de grande porte resultante do processo de discretização da equação da difusão de nêutrons pelo do Método dos Elementos Finitos (MEF) clássico. Tais métodos foram implementados em linguagem de programação de alto nível FORTRAN. O estudo realizado tomou como base os benchmarks EPRI-9 e Homogeneous Reactor, ambos reatores bidimensionais modelados a 2 e 3 grupos de energia, respectivamente. Os resultados obtidos a partir das simulações mostram a eficiência do esquema de aceleração

implementado e sugerem um intervalo ainda mais restrito dentro do qual se encontra o valor ótimo do parâmetro de aceleração.

PALAVRAS-CHAVE: Difusão de Nêutrons, Fonte de Fissão, Aceleração por extrapolação, Modelagem computacional.

ANALYSIS OF ACCELERATION BY EXTRAPOLATION OF THE FISSION SOURCE CONSIDERING THE DIFFUSION NEUTRONS THEORY IN NUCLEAR REACTORS

ABSTRACT: The aim of this work is to analyze the performance of the fission source acceleration method by extrapolation, considering the problem of neutron diffusion in nuclear reactors. Different solvers were used simultaneously with the adopted acceleration scheme in order to solve the large linear system resulting from the discretization process of the neutron diffusion equation by the classical Finite Element Method (MEF). These methods were implemented in FORTRAN high-level programming language. The study was based on EPRI-9 and Homogeneous Reactor benchmarks, both bidimensional reactors modeled at 2 and 3 energy groups, respectively. The results obtained from the simulations show

the efficiency of the implemented acceleration scheme and suggest an even more restricted range within which the optimum value of the acceleration parameter is found.

KEYWORDS: Neutron Diffusion, Fission Source, Numerical Methods, Computational Modeling.

1 | INTRODUÇÃO

Os reatores teóricos têm a finalidade de investigar fenômenos e aplicações nas mais diversas áreas da engenharia nuclear e exercem um papel fundamental para a física de nêutrons e reatores, bem como para testes e validações de métodos numéricos. O problema primordial na teoria dos reatores nucleares é determinar a distribuição de nêutrons dentro do reator, pois é esta que determina a taxa na qual variam as reações nucleares que ocorrem dentro dele.

Para isto, podemos utilizar a teoria da difusão de nêutrons (Duderstadt & Hamilton, 1976) para calcularmos circunstâncias necessárias para alcançar a criticalidade. Para fins de se obter o fator de multiplicação efetivo de nêutrons, deve-se resolver a equação da difusão de nêutrons à multigrupos de energia. Métodos iterativos são empregados visando aceleração do processo de convergência da solução numérica da equação citada para se obter tanto o fator de multiplicação efetivo como o fluxo de nêutrons dentro do reator.

Diante desse contexto, este artigo visa a implementação da aceleração por extrapolação da fonte de fissão. O foco para a análise das simulações é o desempenho e perturbação causados pela aceleração da fonte de fissão em três diferentes métodos para a solução de sistemas de equações gerados pelo problema.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Modelagem da Equação da Difusão de Nêutrons

A equação da difusão de nêutrons é uma equação de derivadas parciais (EDP) do tipo elíptica que descreve a variação de densidade de nêutrons em um volume controle e representa o balanço entre perda e produção de nêutrons no interior desse volume (Roza, 2013). Para o desenvolvimento da análise numérica da equação da difusão de nêutrons utilizamos o Método dos Elementos Finitos (MEF) clássico (Liu & Rincon, 2013). a fim de tratar a dependência espacial do problema, de forma a obter sua solução numérica. A equação da difusão de nêutrons em geometria cartesiana bidimensional, em sua forma multigrupo, é dada por

$$\begin{aligned}
& -\nabla \cdot D_g(r) \nabla \Phi_g(r) + \Sigma_{r,g}(r) \Phi_g(r) \\
& = \sum_{g' \neq g}^G \Sigma_{s,g',g}(r) \Phi_{g'}(r) + \frac{\chi_g}{k_{eff}} \sum_{g'=1}^G \nu \Sigma_{f,g'}(r) \Phi_{g'}(r),
\end{aligned} \tag{1}$$

$$g = 1, \dots, G,$$

$$\forall r = (x, y) \in \Omega \subset \mathbb{R}^2$$

Onde todos os termos são definidos de forma usual como em (Duderstadt & Hamilton, 1976).

Através do princípio de ortogonalidade de funções (método de Galerkin) a equação da difusão de nêutrons é transformada em um problema variacional abstrato. Essa forma variacional é discretizada em partições suficientemente pequenas. Estas partições são chamadas de elementos. O fluxo de nêutrons é então estabelecido como sendo uma combinação linear dentro de cada um dos elementos que compõe a malha (Pessoa et al., 2018). Tais procedimentos transformam a EDP em um sistema linear algébrico de grande porte. Os métodos para a resolução desses sistemas serão descritos no item 3, seções 3.1 a 3.3.

2.2 O fator de multiplicação efetivo de nêutrons

O fator de multiplicação efetivo k_{eff} é determinado pela relação do número de fissões de uma geração com o número de fissões da geração anterior. Sendo assim, para que a reação em cadeia continue a se estabelecer a uma taxa constante, por fissão, cada nêutron que colidir com o elemento radioativo deve produzir um outro nêutron, e assim por diante. Tal sistema é chamado de crítico ($k_{eff} = 1$). Para o caso em que o número de nêutrons gerado por meio de fissão for menor que um, de forma que a reação em cadeia reduza com a variação de tempo, trata-se de um sistema subcrítico ($k_{eff} < 1$). Para a situação inversa, no qual o número de nêutrons da próxima geração for maior que um, a reação tende a aumentar com a variação do tempo, logo, temos um sistema supercrítico ($k_{eff} > 1$).

Graficamente,

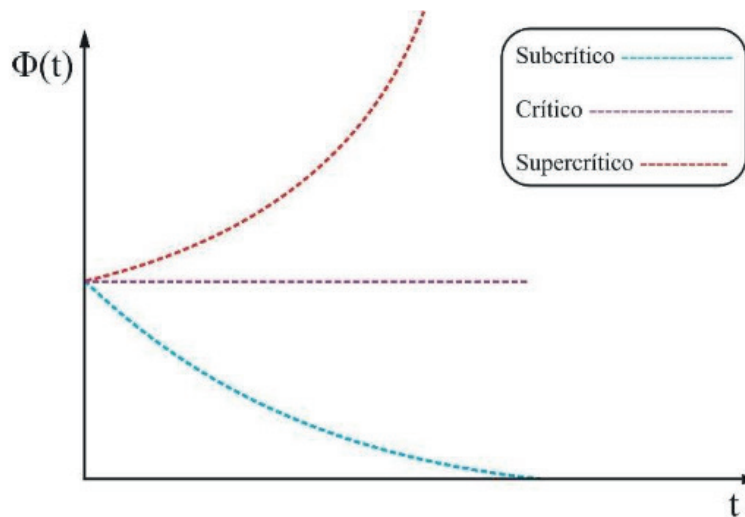


Figura 1- Variação da criticidade em relação ao tempo para os três sistemas.

A partir de nossa definição física de criticidade, é evidente que o equilíbrio cauteloso deve ser estabelecido entre a taxa na qual os nêutrons são produzidos no sistema e a taxa em que eles desaparecem, para que haja a autossustentação da reação em cadeia.

O autovalor k_{eff} pode ser obtido por

$$k_{i+1} = k_i \frac{\int F_{i+1} dV}{\int F_i dV} \quad (2)$$

Onde i é o índice de iteração, k_i é o fator de multiplicação efetivo de nêutrons e F_i é a fonte de fissão dada por $F_i = \sum_{g'=1}^G v \Sigma_{f,g'}(r) \phi_{g'}^i(r)$.

2.3 Problema de iteração para a fonte de fissão

Em geral, a eficiência referente ao cálculo computacional e quantidade de memória para a iteração de fonte busca a convergência em um número coerente de iterações. Porém, em certos casos, a demora em atingir a convergência pode ser uma complicação. A iteração de fonte é crucial para a solução de problemas de autovalores neutrônicos. A taxa na qual há convergência pode ser muito lenta em alguns casos. Devido à importância das iterações de fonte, vários métodos de aceleração foram criados. Por isso, faz-se de suma importância o estudo de métodos que buscam acelerar a convergência, diminuindo o número de iterações necessárias para obter determinado nível de precisão para o k_{ef} e a distribuição de fissão. O método de aceleração utilizado neste trabalho será apresentado no item 3, seção 3.4.

2.4 Benchmarks

EPRI9 – 2D: O benchmark EPRI-9 2D (Khalil, 1982) trata-se de um reator nuclear teórico definido em duas dimensões que é amplamente utilizado para análise e validação de métodos numéricos. A altura do núcleo ativo é de 120 cm, água refletora superior e inferior com 20 cm cada, totalizando 160 cm.

Homogeneous Reactor: Para o benchmark Homogeneous (Han, Dulla & Ravetto, 2009), as dimensões consideradas são de 160 × 140 cm². O modelo teste é a 3 grupos de energia.

3 | METODOLOGIA

O conjunto de técnicas implementadas para resolução dos sistemas de equações gerados pela Eq. (1) corresponde à um método direto, um método iterativo e um método de aceleração polinomial, discretizada pelos métodos das seções 3.1, 3.2 e 3.3, respectivamente. Para a fonte de fissão, diversos métodos podem ser empregados. Aqui, foi utilizado a extrapolação por sobre-relaxação, descrita no item 3.4.

3.1 Método de Sobre-relaxação sucessiva (SOR).

O Método de Sobre-Relaxação Sucessiva (Successive Over-Relaxation - SOR) (Holm, 1959) é um melhoramento do método de Gauss-Seidel para a solução de sistemas de equações lineares, onde o termo ω pode acelerar a convergência para a solução do sistema. A formula de recorrência do método de relaxamento é dada por

$$\varphi_i^{(k+1)} = \frac{\omega}{a_{ii}} \left(b_i - \sum_{j<i} a_{ij} \varphi_j^{(k+1)} - \sum_{j>i} a_{ij} \varphi_j^{(k)} \right) + (1 - \omega) \varphi_i \quad (3)$$

Quando $\omega = 1$, é precisamente o método de Gauss-Seidel. Se A é uma matriz simétrica positiva definida e $0 < \omega < 2$, então, a técnica SOR converge de qualquer vetor inicial. Pode-se ainda selecionar o fator de relaxamento de tal forma que a taxa de convergência seja consideravelmente superior à obtida pelos métodos de Gauss-Jacobi e Gauss-Seidel. Para o problema elíptico que estamos tratando, toma-se $\omega \approx 1,45$ como valor ótimo.

3.2 Algoritmo de Crout

O Método direto de Crout é uma variante particular da fatoração LU. Para evitar o armazenamento excessivo de matrizes, a solução é armazenada em b_j (Liu & Rincon, 2013). Considerando o a matriz decomposta na forma da Eq.(4) , deve-se, então, estipular a solução $\varphi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$.

$$A\varphi = (U^T D U)\varphi \quad (4)$$

Onde A é a matriz simétrica, U é a matriz triangular superior e D é a matriz dos elementos diagonais. O algoritmo de Crout pode ser implementado de acordo com a estrutura abaixo

Algoritmo de Crout

```

1: do  $j = 2, 3, \dots, n$ 
2:   do  $i = 2, 3, \dots, j - 1$ 
3:      $A_{ij} \leftarrow A_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} A_{ki} A_{kj}$ 
4:     do  $i = 1, 2, \dots, j - 1$ 
5:        $T \leftarrow A_{ij}$ 
6:        $A_{ij} \leftarrow T / A_{ii}$ 
7:        $A_{jj} \leftarrow A_{jj} - T A_{ij}$ 
8:     end do
9:   do  $j = 2, 3, \dots, n$ 
10:     $b_j = b_j - \sum_{i=1}^{j-1} A_{ij} b_i$ 
11:  end do
12: do  $j = 1, 2, \dots, n$ 
13:    $b_j \leftarrow b_j / A_{jj}$ 
14: end do
15: do  $j = n, n - 1, \dots, 2$ 
16:   do  $i = 1, 2, \dots, j - 1$ 
17:      $b_i \leftarrow b_i - A_{ij} b_j$ 
18:   end do

```

3.3 Algoritmo do Gradiente Conjugado

Sendo um caso particular do método das direções conjugadas, e tendo uma matriz simétrica, positiva e definida, as direções são obtidas pelo gradiente da função. Por meio de sucessivos gradientes, é possível obter a direção que será conjugada, assim, minimizar a função é análoga a solução do sistema. Para implementação, podemos utilizar a estrutura do algoritmo (Cantanhêde, 2017) a seguir

Algoritmo do Gradiente Conjugado

```
1: Escolhe – se  $\varphi_0 \in R^n$ 
2:  $r_0 = A\varphi_0 - b$ 
3:  $d_0 = r_0$ 
4:  $k = 0$ 
5: do while  $d_k \neq 0$ 
6:    $\alpha_k = -r_k^T d_k / (d_k^T A d_k)$ 
7:    $\varphi_{k+1} = \varphi_k + \alpha_k d_k$ 
8:    $r_{k+1} = A\varphi_{k+1} - b$ 
9:    $\beta_k = -r_{k+1}^T A d_k / (d_k^T A d_k)$ 
10:   $d_{k+1} = r_{k+1} + \beta_k d_k$ 
11:   $k \leftarrow k + 1$ 
12: end do
```

3.4 Aceleração por extrapolação da fonte de fissão

Para acelerar a convergência da fonte, o método de extrapolação por sobre-relaxação é usada para melhorar as iterações no fluxo (Lewis & Miller, 1984). A sobre-relaxação aplicada a fonte de fissão causada por nêutrons é descrita por

$$F_{i+1} = \omega_f (\tilde{F}_i - F_i) + F_i \quad (5)$$

Onde, \tilde{F}_i é a fonte de fissão não acelerada, obtida pela Eq.(2), F_i é o termo acelerado e ω_f é o parâmetro de sobre-relaxação para a fonte.

Para extrapolação por sobre relaxamento, temos que $1 \leq \omega < 2$, onde para todo valor maior que 1, temos a sobre-relaxação. Se $\omega = 1$, então

$$F_{i+1} = \tilde{F}_i \quad (6)$$

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ambos os benchmarks foram resolvidos considerando malhas com três quantidades diferentes de elementos. Para os casos sem aceleração, apresentados nas tabelas 1 e 2, utilizou-se $\omega_f = 1.0$. Já para os casos aceleração, apresentados nas tabelas 2 e 4, utilizou-se os valores 1.4, 1.5 e 1.6 para o parâmetro de extrapolação ω_f . O número total de iterações presente em todas as tabelas refere-se a soma das iterações de fluxo internas e externas.

Número de Elementos	Solver					
	SOR ($\omega = 1.45$)		Crout		Gradiente Conjugado	
	Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$
1024	915 [86]	0,92711	195 [21]	0,92711	188 [91]	0,91459
2304	1996 [964]	0,92717	199 [162]	0,92717	186 [596]	0,91202
4096	4337 [7620]	0,92719	196 [763]	0,92719	186 [2296]	0,91061

Tabela 1- Resultados para o benchmark EPRI-9 sem aceleração do termo de fonte de fissão

Número de Elementos	Solver					
	SOR ($\omega = 1.45$)		Crout		Gradiente Conjugado	
	Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$
896	1676 [150]	0,90205	105 [15]	0,90205	190 [76]	0,91424
2016	3549 [1610]	0,90207	105 [136]	0,90207	117 [900]	0,90207
3584	6004 [10813]	0,90208	101 [678]	0,90207	117 [3480]	0,90208

Tabela 2 - Resultados para o benchmark Homogeneous Reactor sem aceleração do termo de fonte de fissão.

ω_f	Nº de Elementos	Solver					
		SOR ($\omega = 1.45$)		Crout		Gradiente Conjugado	
		Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$
1.4	1024	705 [69]	0,92711	137 [20]	0,92711	142 [69]	0,92711
	2304	1580 [752]	0,92717	134 [167]	0,92717	143 [480]	0,92717
	4096	2844 [4320]	0,92719	135 [760]	0,92719	146 [1952]	0,92719
1.5	1024	636 [59]	0,92711	111 [22]	0,92711	118 [63]	0,92711
	2304	1315 [650]	0,92717	113 [178]	0,92717	118 [439]	0,92717
	4096	2467 [4166]	0,92719	111 [657]	0,92719	118 [1769]	0,92719
1.6	1024	718 [73]	0,92711	134 [15]	0,92711	129 [68]	0,92711
	2304	1616 [820]	0,92717	129 [131]	0,92717	129 [481]	0,92717
	4096	2864 [8648]	0,92719	134 [658]	0,92719	129 [1933]	0,92719

Tabela 3 - Resultados para o benchmark EPRI9-2D com aceleração do termo de fonte de fissão.

ω_f	Nº de Elementos	Solver					
		SOR ($\omega = 1.45$)		Crout		Gradiente Conjugado	
		Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$	Iterações [tempo (s)]	$keff$
1.4	896	1676 [150]	0,90205	80 [13]	0,90205	80 [81]	0,90205
	2016	2865 [1200]	0,90207	80 [120]	0,90207	80 [550]	0,90207
	3584	4794 [8040]	0,90208	81 [660]	0,90207	83 [2575]	0,90208
1.5	896	1311 [123]	0,90205	106 [15]	0,90205	105 [136]	0,90205
	2016	2833 [1238]	0,90207	106 [136]	0,90207	106 [867]	0,90207
	3584	5050 [8820]	0,90208	107 [670]	0,90207	107 [3203]	0,90208

	896	1466 [150]	0,90205	141 [17]	0,90205	143 [145]	0,90205
1.6	2016	2956 [1457]	0,90207	143 [144]	0,90207	143 [1033]	0,90207
	3584	5034 [9180]	0,90208	143 [693]	0,90207	143 [3617]	0,90208

Tabela 4 - Resultados para o benchmark Homogeneous Reactor com aceleração do termo de fonte de fissão.

Analisando as tabelas 3 e 4, percebe-se a aceleração de fonte obteve um excelente desempenho em todos os métodos utilizados para resolver o sistema de equações. Em todos os casos, com um número de iterações de fluxo e um tempo computacional consideravelmente menor. A aplicação da aceleração, como podemos ver, não causa perturbação na solução numérica da Eq.(1) nos casos dos métodos SOR e Crout, tornando-a assim, vantajosa para se obter um menor custo computacional. No caso do método dos Gradientes Conjugados, vê-se que em si ele já possuiu uma precisão inferior ao valor de referência da literatura do k_{eff} . Porém, Aplicando-se a aceleração na fonte, é possível se atingir uma precisão semelhante aos métodos SOR e Crout, e, mais uma vez, mostrando o benefício de se utilizar métodos para acelerar a convergência dos resultados.

5 | CONCLUSÃO

Os resultados obtidos apontam $\omega_f = 1.5$ e $\omega_f = 1.4$ como um valor ótimo para os benchmarks EPRI-9 e Homogeneous Reactor, respectivamente. Em geral, comparando os métodos de resolução de sistemas de equações utilizando a aceleração da fonte, temos que os resultados numéricos obtidos são extremamente próximos, entretanto, os métodos do gradiente conjugado e principalmente o SOR, em termos de tempo computacional, têm uma convergência mais lenta sem utilizar o método de aceleração de fonte. Desta forma, com base nas informações obtidas nas simulações numéricas, é possível notar que o que o método de Crout é superior comparado aos outros dois já citados, levando em consideração os resultados obtidos como o número de iterações e principalmente o tempo total necessário a execução das simulações.

REFERÊNCIAS

Cantanhêde, S.V.P., (2017). “Método dos Gradientes Conjugados Aplicados a Sistemas Lineares”, Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, Vol. 5, N. 1, Gramado – RS, 2.

Duderstadt, J.J., & Hamilton, L.J., (1976). “Nuclear Reactor Analysis.”, Departament of Nuclear Engineering, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.

Han, S., Dulla, S., & Ravetto, P. (2009). “Computational methods for multidimensional neutron diffusion problems”. Science and Technology of Nuclear Installations, 7.

Holm, S. (1959). "Nuclear reactor theory". Nuclear Physics (Vol. 10), Tokyo Institute of Technology.

Khalil, H.S., (1982). "The application of Nodal Methods to PWR Analysis." (PhD thesis). Department of Nuclear Engineering, Massachusetts Institute of Technology.

Pessoa, P. O., Araujo, L. M., & Silva, F. C. (2018). "A strategy for pin power reconstruction based on classic Galerkin variational formulation". *Progress in Nuclear Energy*, 104, 251–263.

Lewis E.E. & Miller W.F. Jr., (1984). "Computational Methods of Neutron Transport", A Wiley-Interscience publication, 43-95.

Liu, I-S., Rincon, M.A., (2013). "Introdução ao Método dos Elementos Finitos – Computação e Análise em Equações Diferenciais Parciais", Instituto de Matemática, UFRJ, Rio de Janeiro. 140-146.

Roza, M.P., (2013). "Solução da Equação da Difusão de Nêutrons pelo método de Diferenças Finitas de Malha Grossa Analítica", Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 8-11.

SOBRE O ORGANIZADOR

CLEBERTON CORREIA SANTOS- Graduado em Tecnologia em Agroecologia, mestre e doutor em Agronomia (Produção Vegetal). Tem experiência nas seguintes áreas: agricultura familiar, indicadores de sustentabilidade de agroecossistemas, uso e manejo de resíduos orgânicos, propagação de plantas, manejo e tratamentos culturais em horticultura geral, plantas medicinais exóticas e nativas, respostas morfofisiológicas de plantas ao estresse ambiental, nutrição de plantas e planejamento e análises de experimentos agropecuários.

(E-mail: cleber_frs@yahoo.com.br) – ORCID: 0000-0001-6741-2622

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acidentes 109, 310, 311, 312, 313, 314

Aminas primárias 81, 84, 85

Atividade antioxidante 144, 146, 151, 152, 153, 155, 156

B

Bioimpressão 193, 194, 195, 196, 199

C

Castanhola 74, 75, 79

Compostos multifuncionais 64, 67

Compressores Herméticos 34, 35, 36, 39, 40

Construção Civil 102, 105, 112, 113, 157, 179, 363

CPTEC 205, 206, 207, 208, 217

E

Equações lineares 45, 233, 236, 237, 238, 239, 240, 353

Estrutura axiomática 183, 186, 189

F

Fonte de fissão 41, 42, 44, 45, 47, 48, 49

G

Geoprocessamento 1, 2

H

Hemocentro 317, 322, 323, 324, 326

Hibridização 64, 65, 67, 68, 69, 71

L

Lesson Study 218, 219, 220, 221, 222, 224, 225

Leveduras 8

M

Mapeamento 1, 2, 3, 4, 6, 7, 181, 280

Mecânicas de eritrócitos 226

Multi-objetivo 277, 278, 279, 281, 282, 283, 284, 287

Mutagênese 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18

P

PHB/PC 253, 254, 257, 261, 262, 264

Protocolos de redes 52

R

Redes neurais 349, 350, 351, 354, 356, 358, 359, 360, 361, 362

Risco de inundação 1, 3, 4, 5, 6, 7

S

Smart Grids 51, 52, 53, 61

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-622-5

